



Mudanças Climáticas e Impactos da Elevação do Nível do Mar na Zona Costeira: Pesquisa Bibliográfica e Contribuição Conceitual

Ronaldo da Cruz Braga ¹
Márcia Aparecida da Silva Pimentel ²
Edson José Paulino Rocha ³

RESUMO

Este artigo constitui esforço teórico sobre o tema relacionado ao aumento do Nível Médio do Mar e seus impactos nos sistemas ambientais naturais e antrópicos nas zonas costeiras, tema que está presente tanto no meio acadêmico, quanto fora dele, como uma reflexão cotidiana da sociedade contemporânea. Tal desafio empreendeu a construção de uma base teórica estruturada nos conceitos de Mudanças Climáticas, Zona Costeira, Nível Médio do Mar, Antropoceno e Meios Geográficos associados ao contexto das mudanças climáticas atuais. Para tanto, foi fundamental a pesquisa em periódicos indexados, internacionais e nacionais, livros, teses e sites, o que totalizou 125 referências sobre o tema. De forma procedimental houve, inicialmente, um breve resgate histórico dessas discussões desde a Antiguidade Clássica até a Primeira Revolução Industrial. Posteriormente, foram inseridas, as informações mais recentes baseadas na linha científica do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). A correlação entre as projeções do Quinto Relatório do IPCC AR5/2013 e a base de dados de altimetria por satélites, demonstrou que o nível do mar tem aumentado na maior parte do Globo, provocando diversos impactos socioambientais advindos da erosão e inundação, principalmente na chamada Zona Costeira de Baixa Elevação.

Palavras-Chave: Nível do Mar; Zona Costeira; Impactos; Antropoceno.

¹ Doutorado em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Pará, UFPA, Brasil. Docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, IFPA, Brasil. <https://orcid.org/0000-0001-9718-7438>. rcbragageo@yahoo.com.br

² Doutorado em Geografia (Geografia Física) pela Universidade de São Paulo, USP, Brasil. Docente na Universidade Federal do Pará, UFPA, Brasil. <https://orcid.org/0000-0001-9893-9777>. mapimentel@ufpa.br

³ Doutorado em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, Brasil. Docente na Universidade Federal do Pará, UFPA, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-2509-7027>. eprocha@ufpa.br

As últimas décadas tem presenciado o aumento da discussão dos efeitos das mudanças climáticas sobre as atividades humanas. No contexto acadêmico mundial atual, diversas pesquisas, incluindo inúmeras temáticas, mostram a relação entre as mudanças climáticas e seus impactos sobre os ecossistemas naturais e estruturas sociais (Broecker 2000; Crowley & Berner 2001, Alley 2000, 2003; Conti 2005; Dasgupta & Meisner, 2009; Edwards 2010; Nicholls & Cazenave, 2010; Muehe & Rosman 2011; IPCC 2013, 2014; Dou & Xiao, 2016; Grillakis 2016).

Dentre os impactos ocasionados por essas mudanças, destaca-se a subida do Nível do Mar (NM) ou Nível Médio do Mar (NMM) e as consequências na chamada Zona Costeira de Baixa Elevação ou Coastal Zone of Low Elevation (Tagliani et al. 2006), correspondendo aos setores litorâneos abaixo de 10 metros topográficos. Os impactos podem ser observados na dinâmica morfológica, nas constantes inundações, na erosão da linha de costa, na perda de ambientes tais como: praias, dunas e manguezais e até mesmo na dinâmica social. As projeções do Painel Intergovernamentais de Mudanças Climáticas-IPCC 2013, 2014, em seu Quinto Relatório AR5, sobre o aumento de um metro do Nível do Mar NM até 2100 apontam para um cenário de impactos em inúmeras cidades e ecossistemas costeiros.

As regiões costeiras são naturalmente vulneráveis à dinâmica energética do mar e dependendo da configuração da linha de costa, o seu grau de vulnerabilidade aos fatores físicos pode sofrer variações ao longo dos setores costeiros. Com o aumento do NM, essas regiões, principalmente as de baixa topografia, menor declividade e as mais densamente povoadas, estão vulneráveis, principalmente com inundações e erosão devido à variação nos regimes das marés e clima de ondas e correntes costeiras (Gornitz 1991, Nicholls 2014. Diante do aumento da vulnerabilidade à elevação do NM, o grau de risco de impacto também aumenta, pois, o risco está diretamente relacionado à vulnerabilidade, à ameaça e à exposição ao longo da costa (Roaf et al. 2009). A determinação da vulnerabilidade e do risco em zonas costeiras é de fundamental importância para gestores criarem políticas de prevenção de impactos e adaptação social e ecossistêmica (Coelho 2005; ICLEI 2013, 2015, 2016; Barbi 2015; PNA/MMA 2016).

Ante este cenário o objetivo desse artigo é relacionar as mudanças climáticas e seus impactos nas zonas costeiras advindos da elevação do NMM. Para tanto, necessário se faz recorrer a dois conceitos científicos: Meios Geográficos e Antropoceno. O primeiro é um conceito chave para a Geografia, e associa a apropriação da natureza à evolução dos sistemas técnicos pelas sociedades (Santos 2006). Trilhando a linha geográfica, quanto mais as atividades humanas dominam a técnica, maiores são os impactos sobre a natureza. Nesse raciocínio, em relação as mudanças climáticas, há

Ronaldo da Cruz Braga; Márcia Aparecida da Silva Pimentel; Edson José Paulino Rocha

importantes contribuições científicas demonstrando que uma das principais causas do aumento do efeito estufa e do NMM, é provocado pela emissão antrópica de Gases do Efeito Estufa (GEE). O conceito de Antropoceno não é exclusivo de uma Ciência, mas vem sendo utilizado amplamente em diversas áreas. No entanto, a Geologia tem o mérito da sua introdução no debate científico. No geral, Antropoceno é caracterizado por um período, onde a ação humana tem intensificado suas marcas sobre a natureza.

Mesmo que as discussões sobre as causas das mudanças climáticas, atualmente estejam relacionadas à ação humana, estas fazem parte do tempo geológico, com diversas flutuações entre período quente e frio, a exemplo das glaciações do Quaternário (Salgado Labouriau 1994). A temática é abrangente, por isso, pretende-se contribuir conceitual e teoricamente, sem intenção de esgotar o assunto.

METODOLOGIA

Este artigo é resultado de revisões de literatura sobre os impactos da variação do clima em escala global, sobre a elevação do Nível do Mar na zona costeira. Parte de um resgate histórico sobre a temática, configurando-se na formação de uma linha do tempo da discussão sobre mudanças climáticas, o que proporcionou a agregação de conceitos transversais ao tema: o de Nível do Mar e de Zona Costeira. Esses foram importantes na definição da Zona Costeira de Baixa Elevação, considerada na literatura científica como área máxima para impactos de um possível aumento do Nível do Mar.

Para exemplificar, foram selecionadas algumas áreas, na escala global, para demonstrar os referidos impactos. Por fim, como contribuição teórica e conceitual, é demonstrada a evolução das mudanças climáticas aos conceitos de Antropoceno e aos Meios Geográficos: Meio Natural, Meio Técnico e Meio Técnico Científico-Informacional.

As 125 referências na literatura científica consultada entre junho de 2016 a janeiro de 2018, foram subdivididas da seguinte forma: 63 artigos internacionais, 25 artigos nacionais, 13 livros internacionais, 16 livros nacionais, 6 sites relacionados ao tema e 2 teses, sendo uma internacional e uma nacional. As principais plataformas de pesquisa dos artigos internacionais foram a ScienceDirect na área de Ciências Sociais e da Terra, e a Mendeley. Usando a expressão “impactos da elevação do nível do mar em zonas costeiras” foram encontrados mais de 6.000 artigos. No entanto, selecionados apenas os relacionados ao impacto produzido no espaço costeiro. Dentre as várias fontes nacionais, consultou-se a plataforma Scielo utilizando a expressão “aumento do nível do mar”, além de consultas em sites e bibliotecas digitais.

RESULTADOS

SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As mudanças climáticas são constantes na história geológica da Terra. No passado, estavam estritamente ligadas a fatores naturais. No Quaternário, por exemplo, estas variações estavam relacionadas a períodos glaciais e interglaciais. Entretanto, desde sua origem há aproximadamente 4,5 bilhões de anos, a Terra apresenta variações climáticas (Salgado-Labouriau 1994). É conhecido que durante os 345 milhões de anos da Era Paleozóica (570 milhões a 225 milhões de anos atrás) a temperatura média da Terra era superior à atual. E no Mesozóico, que durou cerca de 160 milhões de anos (225 milhões a 65 milhões de anos), a temperatura média da Terra atingiu 30 a 33°C, mesmo nas regiões polares, onde as temperaturas eram variáveis entre 8 a 10°C. Esse fenômeno ocorreu principalmente durante o Cretáceo, quando os níveis de CO₂ atingiram valores quatro vezes maiores que os do final da Primeira Revolução Industrial Alley 1999 2000, 2003; Olmos et al. 2011).

Aerola (2003), Hoffman et al. (1998), Petit et al. (1999) afirmam que há evidências de glaciações bem mais antigas na escala geológica, datadas do Arqueano e principalmente do Neoproterozóico, quando a Terra passou por longo período frio. Durante as fases do Pleistoceno foram registradas as seguintes glaciações: DONAU e GUNS no Inferior; MINDEL, no Médio; RISS e WURM, no Superior (Salgado-Labouriau 1994). Nesta última, há mais de 12 mil anos, o nível do mar recuou mais de 100 metros do nível atual, provocando inúmeras mudanças em ecossistemas costeiros.

Em relação aos fatores responsáveis por tais processos, Overpeck & Webb (2000) afirmam que a dinâmica natural do sistema climático e as influências da ação humana podem impor mudanças no sistema climático. O Quadro 01 resume os principais fatores de permanência de uma mudança climática e suas especificidades.

Quadro 01. Teorias e características de causas e manutenção das mudanças climáticas globais.

| Teoria | Características |
|---|--|
| Mudanças no relevo topográfico | Grandes elevações continentais, principalmente no Proterozóico e Permo-Cambriano, foram acompanhadas por períodos glaciais. Também durante o Terciário, com a elevação das Andes, Himalaia e Alpes, ocorreu diminuição na temperatura global. |
| Mudança de radiação por efeito de meteoros | Existe uma camada de poeira lunar ou de meteoros que circunda a Terra, cuja espessura inicial pode ter causado aumento e diminuição da temperatura. |
| Mudança na inclinação no eixo de rotação | A alternância do ângulo de rotação da Terra com seu eixo, que atualmente é de 23,5° varia ao longo do tempo, seria responsável pelos ciclos glaciais. |
| O ciclo solar | Caso o sol entre em período de inatividade ou intensa atividade, pode desencadear uma mudança climática, ou simplesmente, uma oscilação. |
| Teoria de Milankovitch. | As mudanças climáticas são resultantes da quantidade de energia recebida na superfície terrestre, que varia em função dos parâmetros do movimento orbital da Terra: obliquidade do eixo de rotação, precessão dos equinócios e excentricidade da órbita. |

Fonte: Elaborado pelos autores com informações de Salgado Labouriau (1994).

De acordo com Benestad & Schmidt (2009) a forçante solar tem se mantido estável desde a década de 1980, e sua contribuição para o aquecimento não representa, na atualidade, um fator principal. Autores como (Benestad 2003; Gildor & Tziperman 2003; Benestad & Schmidt 2009; Annan & Hargreaves, 2006; Bard & Delaygue 2008; Camp & Tung 2007; Carslaw et al. 2002), também apresentaram importantes contribuições sobre a dinâmica solar e sua influência no clima da Terra.

PRIMEIRAS CONTRIBUIÇÕES SOBRE OS ESTUDOS DA DINÂMICA CLIMÁTICA

As primeiras preocupações com a dinâmica climática remontam a Antiguidade Clássica. Na Grécia Antiga, as considerações de Aristóteles em seu Tratado de Meteorologia, apresenta uma série de interpretações sobre fenômenos relacionados à Terra, à atmosfera, nuvens, tempo, clima e efeitos das alterações climáticas (Rasmussen 2010). O tema era também presente na mitologia, existindo o deus do vento (Éolo) e o deus do mar (Poseidon). Na literatura da época, os elementos climáticos tinham papel importante nas obras de Homero e Hesíodo (Rasmussen 2010). Anaximandro (610-546 a.C), discípulo de Tales de Mileto teceu considerações importantes sobre os astros, geometria, oceanos, precipitação, evaporação, ventos.

O estudo dos fenômenos atmosféricos foi uma marca dos filósofos clássicos. No entanto, foi a partir do século XVI que as compreensões científicas do clima tiveram seus estudos aprimorados. Esse é o momento em que as bases do conhecimento científico sobre a atmosfera e o clima terrestre foram estabelecidas e posteriormente firmadas, como indica Leite (2015).

Após o século XVI as contribuições para o conhecimento do clima foram diversas e de considerável importância. No século XVII Galileu criou o termômetro. Em 1712 Fahrenheit inventou o termômetro selado de mercúrio e a escala de temperatura. Anos seguintes, por volta de 1742, Celsius aperfeiçoou o termômetro com a medição do peso do ar e Torricelli criou o barômetro, a partir de experiência com o vácuo para medir a pressão atmosférica. Ainda no século XVII, Pascal (1623-1662) fez cálculos para determinar o peso da atmosfera. Robert Hooke (1635-1703) inventou a bomba de ar. O químico e físico irlandês Robert Boyle (1627-1691) demonstrou a existência do vácuo e da pressão do ar. Joseph Black, em 1754 criou a fórmula molecular do dióxido de carbono. Daniel Rutherford, em setembro de 1772 formulou, como tese, a descoberta do Nitrogênio. Ainda no século XVIII Joseph Priestley e Antoine Lavoisier demonstraram, por experimentação, a existência do oxigênio e seu papel na respiração e na vida. Benjamin Franklin demonstrou o deslocamento das tempestades e descreveu os relâmpagos como fenômenos elétricos (Leite 2015; Shapin & Shaffer, 2011; Walker 2007).

De acordo com Schmidt & Wolfe (2009), Edwards (2010), Mendonça (2004) e Leite (2015), na segunda metade do século XIX já existia uma importante infraestrutura global para estudos climáticos e meteorológicos, que dispunha de conhecimentos básicos sobre a composição da atmosfera. Instrumentos como termômetro, barômetro e higrômetro, balões meteorológicos, bem como grande parte do planeta já estava sendo monitorado por estações meteorológicas na Holanda, em 1860, seguida do sistema inglês em 1861, do francês em 1863. Já nos Estados Unidos, a formação do serviço federal de meteorologia foi iniciada em 1870.

Ainda no século XIX, em 1824, Joseph Fourier, estudando a temperatura da atmosfera, entendeu que se não fosse pelo aprisionamento de gases, a superfície terrestre seria bem mais fria. Esta conclusão lançou bases para o conceito de efeito estufa, que iria ser posteriormente cunhado por Woods, em 1909. Claude Pouillet, que elaborou estudos embasados em Fourier, fez as primeiras estimativas do equivalente termal da radiação solar fora da atmosfera, a constante solar, e as primeiras estimativas do papel do vapor d'água na retenção do calor na atmosfera (Leite 2015).

No século XIX surgiram os primeiros estudos sobre as mudanças climáticas, envolvendo os períodos glaciais e interglaciais. Também datam desse período, as primeiras preocupações sobre as questões ambientais relacionadas às mudanças climáticas. Wahlenberg, em 1818, afirmou que a glaciação geral é, na verdade, um fenômeno regional da Escandinávia. Esmark em 1824, defendia a existência de uma sequência global de idades do gelo em função de mudanças na órbita da Terra. A ideia de múltiplas ou da existência de várias glaciações foi compartilhada por vários cientistas do século XIX, como Ignace Venetz, na década de 1820, Jean de Charpentier na década de 1830 e Schimper, 1837. Louis Agassiz publicou em 1840 “Études sur les glaciers” onde entendia que as glaciações ocuparam grande parte da Terra, inclusive chegando a baixas latitudes. Em 1909, Penck e Bruckner mapearam as glaciações do Quaternário na Europa, publicando “Os Alpes na era do gelo” e estabelecendo o modelo geológico de quatro grandes eras do gelo (Gunz, Mindel, Riss e Wurm), cuja interpretação permanece até os dias atuais (Woodward 2014, Rémy & Testut 2006, Kruger 2013, Leite 2015).

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AÇÃO HUMANA

As mudanças climáticas precedem a ação humana sobre a natureza. Porém, as preocupações com a influência negativa das sociedades sobre o meio já se faziam presentes no século XIX. O naturalista e geógrafo alemão Alexander Von Humboldt, que viveu nesse período, foi considerado pioneiro nesse debate. Ao observar os devastadores efeitos ambientais das plantações coloniais no lago

Ronaldo da Cruz Braga; Márcia Aparecida da Silva Pimentel; Edson José Paulino Rocha

de Valência, na Venezuela, alertou que os humanos estavam interferindo no clima e, que isso, poderia ocasionar um impacto imprevisível sobre as futuras gerações, o que de fato veio a ocorrer (Wulf 2016).

Na dimensão institucional, A Convenção para a Preservação de animais, pássaros e peixes da África, em 1900 foi considerado o primeiro acordo mitigador dos impactos humanos sobre a natureza (Ribeiro 2008). No entanto, só após a Segunda Guerra Mundial, principalmente a partir da década de 1970, que aconteceram ações relacionadas à política governamental internacional, mais efetivas. Fazem parte desse contexto, a criação da Organização das Nações Unidas, em 1945, a Conferência de Estocolmo, em 1972 e as Nações Unidas para o Meio Ambiente (Cnumad), em 1992, a Reunião de Joanesburgo, em 2002, o Protocolo de Kyoto, em 1997 e mais recentemente a Conferência das Partes COP 21, ocorrida na França, que apresenta um cenário de aumento da temperatura global em 1,5°C até 2100.

Merecem destaque nesse contexto a criação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas IPCC, em 1988, pela Organização Meteorológica Mundial (OMC) e a Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas UNFCCC, organização que objetiva buscar a diminuição dos GEE na atmosfera, visando diminuir os efeitos das mudanças climáticas sobre ecossistemas e população. Para o IPCC a ação humana tem papel de responsabilidade sobre as alterações climáticas, principalmente com o aumento das emissões de GEE (IPCC/WGI 2013).

A constatação da interferência humana no clima, principalmente com a emissão de GEE na atmosfera, já foi relatado em diversos estudos. Em um clássico trabalho, Petit et al. (1999), por exemplo, analisando o núcleo e gelo em Vostok, Antártida, demonstraram que há uma estreita correlação entre a temperatura na Antártida e as concentrações atmosféricas de CO₂ e CH₄ nos últimos 420 mil anos. Estudo semelhante foi realizado por Alley (2000), ao indicar, a partir de registros de gelo da Groelândia, que as mudanças abruptas e generalizadas, estão relacionadas à concentração de CH₄ e CO₂ nas camadas de gelo. Sobre o tema também há referências em Alley et al. (1999), Overpeck (2000), Broecker (2000), Boyle (2000), Williams et al. (2007).

O ciclo natural dos GEE, principalmente do CO₂ começou a ser perturbado com maior magnitude por volta de 1750, período que marca a Primeira Revolução Industrial (Crowley & Berner, 2001; Conti 2005; Ribeiro 2008; IPCC 2013; Zhou et al. 2015; Ren 2015). Desde então, os níveis desses gases têm aumentado na atmosfera (Courillot 2007). Para mais dados sobre as concentrações e emissões de GEE na atmosfera pela ação humana, há referências em IPCC, 2007; Steffen et al. 2011; Juras 2014 e NOAA 2019.

As publicações atuais relacionam diretamente a ação humana e o aumento das emissões de GEE na atmosfera aos impactos das mudanças climáticas e aos impactos destas sobre os ecossistemas terrestres e população. Kang & Cong (2016) demonstram associação entre a produção de Carbono Negro, formado a partir da queima de combustíveis fósseis (carvão, óleo diesel, biocombustíveis e biomassa), o aumento da temperatura e à possível redução de gelo no Ártico. Resultados semelhantes obtiveram Dou & Xiao (2016), ao concluírem que a concentração de carbono antrópico na atmosfera tem influenciado na diminuição da capa de gelo (*Ice cap*) nas regiões de alta latitude. Na China, país mais populoso do mundo Yan et al. (2016) registraram os efeitos negativos da urbanização sobre as tendências climáticas e a variabilidade local, principalmente no aumento das ilhas de calor e mudança na precipitação. Yang et al (2015) também afirmaram que, em decorrência da ação humana sobre o clima, as montanhas de gelo da China estão mais vulneráveis ao derretimento. Outras referências atuais sobre esse assunto podem ser encontradas em Overland et al. (2013), Mcsweeney & Jone (2016), Grillakis (2016), Steininger et al. (2016).

NÍVEL DO MAR

O principal efeito do aumento da temperatura global, causado pela emissão de GEE na atmosfera é a variação do Nível Médio do Mar (Overpeck 2006; Dasgupta & Meisner 2009; Goosse et al. 2010; IPCC 2007, 2013). Literaturas nacionais importantes sobre o tema são Muehe (2003, 2006, 2008); Muehe & Rosman, (2011), também os dois últimos relatórios do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas são importantes contribuições PBMC (2012, 2014).

Vieira (1981) entende que as variações do nível dos oceanos são resultantes de dois tipos de fenômenos. Os gerais, que provocam alteração eustática, sendo derivados de profundas mudanças climáticas, e os locais, que não alteram a posição eustática, mas modificam as relações de altitude entre porções continentais e oceano, os quais são derivados de movimentos isostáticos, tectônicos, deformações do geóide, etc. O relatório do Grupo de Trabalho-WG I do IPCC publicado pelo IPCC (2013) entende que os fenômenos gerais, podem provocar aumento no NMM e os fenômenos locais, aumento relativo do NM.

Durante o Quaternário houve várias subidas e descidas eustáticas ligadas a fases interglaciais e glaciais, conforme já citado. Há 18.000 anos o mar esteve em fase de descida máxima, com seu nível médio na isóbata atual aproximada de 110 metros (Vieira 1981). O aumento do nível do mar atual é consequência, segundo Nicholls & Cazenave (2010), IPCC (2013) de dois fatores principais: a expansão térmica da água do mar, devido ao aquecimento do oceano e a entrada de massa de água a partir do

derretimento do gelo terrestre. Os fatores geológicos também exercem influência sobre a variação do NM (Vieira 1981).

O registro da variação do NM pode ser feito, de maneira geral, de duas formas: através de registro de marés e através de monitoramento por satélite. Os dados de nível médio do mar expostos pelo IPCC (2013) é um conjunto das duas metodologias. O IPCC também fez a relação entre a variação da temperatura e a elevação do nível do mar. Cabe ressaltar que essas projeções levam em conta a ação antrópica, principalmente com as emissões de GEE. Portanto, os dados demonstram a possível materialização das ações humanas sobre o meio geográfico, provocando mudanças na temperatura terrestre e conseqüentemente na elevação do NM.

O IPCC (2013) projeta quatro cenários de aumento do NM resultantes das mudanças climáticas: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5. Quando comparamos o aumento médio da temperatura e a variação do NM no primeiro e último cenário, verificamos que: no primeiro cenário, o mais otimista, a temperatura varia entre 0,3° a 1,7° C até 2100, o que causaria a elevação de 26 cm até 54 cm do nível do mar. No pior cenário, RCP8.5, o aumento da temperatura seria entre 2,6 e 4,8°C, com elevação de até 82 cm a 1 metro do nível dos oceanos.

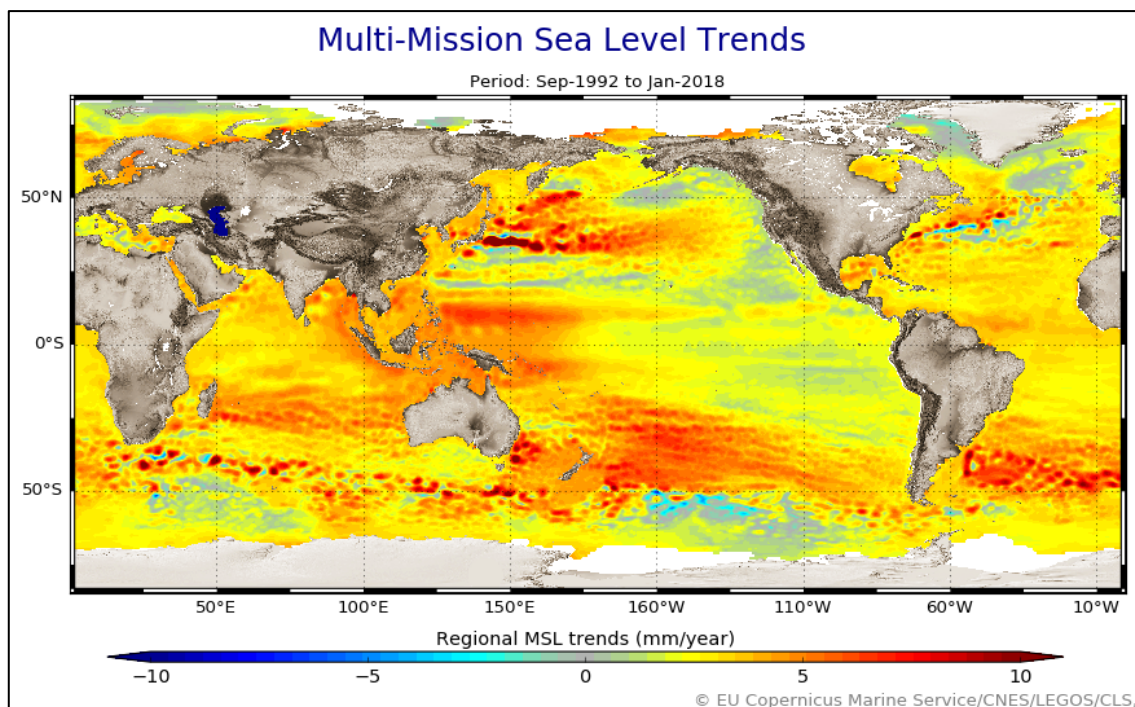
Com o aumento do NMM em 1 metro até 2100, as zonas costeiras em todo o mundo sofrerão progressivo impacto físico e social. Em algumas áreas do globo já foram feitas projeções com os cenários do IPCC e o resultado delas é a ocorrência de diversas formas de impactos, principalmente erosão, alagamentos, mudança de salinidade, perdas de ambientes, como praias, dunas e mangues. Tais impactos colocam em risco estruturas humanas, podem provocar migrações e ao mesmo tempo exigem da sociedade e dos governos formas de adaptação do modo de vida. Alguns resultados das projeções da elevação do NM em zonas costeiras são vistos nos trabalhos de Muehe & Neves (2010); Nobre (2008); Nobre et al. (2008) Nobre (2011) Nicolodi & Petermann (2010); Souza (2009); Montanari et al. (2014); Gutierrez et al. (2014); Nicholls & Cazenave (2010).

O Programa Global Sea Level Observing System GLOSS, formado por vários países, do qual também o Brasil participa, fornece dados sobre variação do NM a nível mundial e destina-se ao estudo e monitoramento dos oceanos. Seu objetivo primordial é o estabelecimento de um sistema estratégico permanente para o fornecimento de informação de alta qualidade sobre o nível dos mares e o monitoramento de suas mudanças globais. O programa teve origem em 1985 pelo Intergovernamental Oceanographic Commission (IOC) e em 1989 foi incorporado pelo Programa Global Ocean Observing System (Goosbrasil 2017), que também integrou outros programas. Em nível mundial, os dados são armazenados e cedidos pelo Permanent Service for Mean Sea Level (Psmssl 2017).

Ronaldo da Cruz Braga; Márcia Aparecida da Silva Pimentel; Edson José Paulino Rocha

A altimetria por satélite mostra que o Nível do Mar não está variando uniformemente. Em regiões como as do Pacífico Ocidental, o nível do mar subiu até três vezes mais rápido que a média global desde 1993 (Nicholls & Cazenave 2010). A Figura 01 mostra a tendência do nível do mar registrado por satélite e as variações em diversas partes do Globo.

Figura 01. Tendências do nível do mar regional a partir da altimetria por satélite, multi-missão (Topex / Poseidon - Jason-1, Jason-1 - Jason-2, Saral, Envisat, ERS-1 e ERS-2).



Fonte: Aviso/Satellite Altimetry Data 2019.

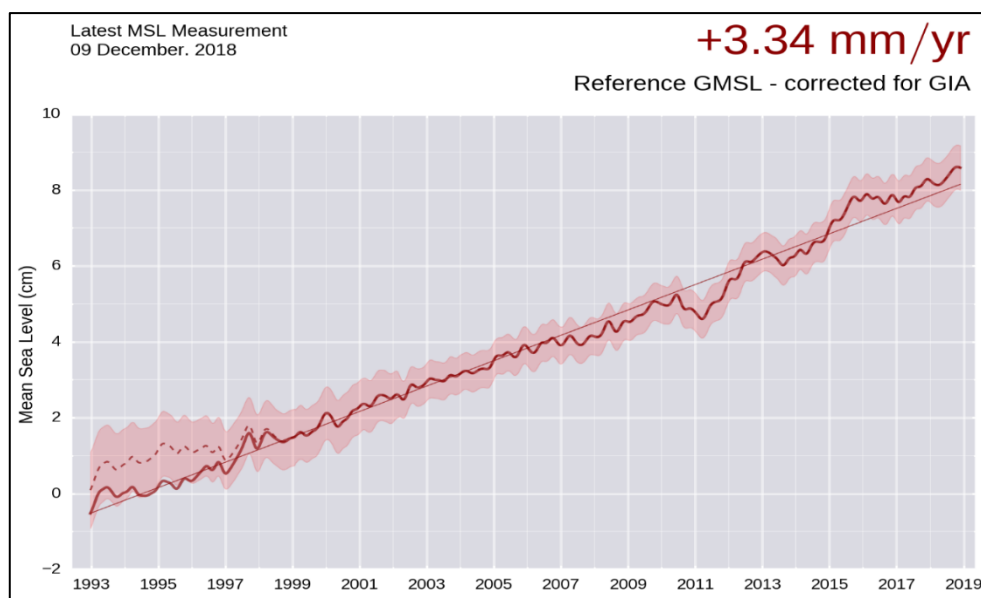
De acordo com Levitus et al. (2009) e Lyman et al. (2010) a temperatura dos oceanos registrada pelos navios em diferentes locais tem mostrado aumento significativo desde a década de 1950. Em média durante o período de 1993 a 2010, o aquecimento dos oceanos e o derretimento das geleiras (*Ice Sheets*) contribuíram aproximadamente por 70% para o aumento dos NMM (Church et al. 2011, Cazenave & Rémy 2011).

A média global de aumento do NMM varia regionalmente e os principais fatores responsáveis são as mudanças em larga escala na estrutura de densidade dos oceanos e mudanças associadas na circulação oceânica (Aviso/Altimetry, 2019). Bindoff et al. (2007) afirmam que as maiores mudanças regionais nas tendências do nível do mar resultam de variações nas temperaturas do oceano (expansão térmica não uniforme), mas em algumas regiões, as mudanças na salinidade da água também são importantes.

Ronaldo da Cruz Braga; Márcia Aparecida da Silva Pimentel; Edson José Paulino Rocha

Embora o nível médio do mar tenha permanecido quase estável desde o final da última deglaciação há aproximadamente 3.000 anos (Nicholls & Cazenave, 2010), de 1993 o ano de 2018 a altimetria por satélites registrou um aumento médio de 3,34 mm anuais ou 8,64 cm para o período (Aviso/Altimetry, 2019) (Figura 02).

Figura 02. Variação do Nível Médio do Mar global a partir da altimetria com dados de satélites.



Fonte: Aviso/Satellite Altimetry Data 2019.

Os dados para o Atlântico Sul, onde está o litoral brasileiro, apresentam os seguintes valores: tendência positiva do NMM de 3,35 mm/ano de 1993 a 2018, e com aumento médio de 8,32 cm para o mesmo período. A Figura 03 mostra uma tendência positiva do aumento do NM no Oceano Atlântico Sul.

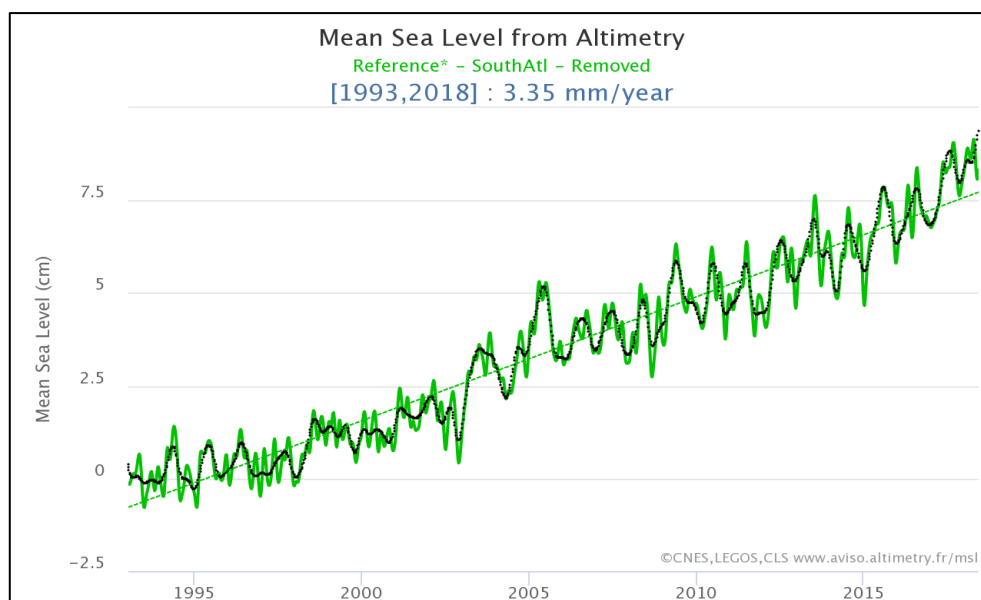
No Brasil doze estações de monitoramento do nível do mar fazem parte da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia/RMPG, sob controle do IBGE. No entanto, apenas, as estações de Santana, Fortaleza, Ubatuba, Cananéia e Imbituba apresentam dados atualizados até 2017. Esta Rede é um conjunto homogêneo de marcos geodésicos com altitudes de alta precisão em todo o território nacional, formalmente denominado Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

A maior dificuldade para determinar a variação do nível do mar no Brasil está relacionada ao tempo de observação do monitoramento e à sincronia entre as várias estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia RMPG do IBGE. A Rede foi concebida em 1996 e possui instalação de maregrafos em diversas datas (Luz & Guimarães 2003). A inexistência de um referencial altimétrico ortométrico para a zona costeira, a carência de dados históricos e o monitoramento atualizado de nível

Ronaldo da Cruz Braga; Márcia Aparecida da Silva Pimentel; Edson José Paulino Rocha

do mar, são os principais problemas enfrentados pela comunidade científica para estabelecer taxas e variações de elevação do NM em nosso litoral e projetar estudos de impactos socioambientais (Bezerra 2014).

Figura 03. Variação do Nível Médio do Mar global a partir da altimetria com dados de satélites.



Fonte: Aviso/Satellite Altimetry Data 2019.

Sintetizando, diante das condições expostas, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas PBMC (2012) estima que a elevação do NM para algumas cidades brasileiras sejam as seguintes: Recife (1946-1987): 5,4 cm/déc (cm por década); Belém (1948-1987): 3,5 cm/déc; Cananéia-SP (1954-1990): 4,0 cm/déc; Santos-SP (1944-1989): 1,1 cm/déc.

ZONA COSTEIRA

Para Ramesh et al. (2015), a zona costeira é caracterizada, principalmente, por ser um compartimento global de significância para ciclagem e processos biogeoquímicos, para habitação humana e de grande importância para economia. Crossland et al. (2005) definem zona costeira como a área de transição relativamente estreita, que compreende um conjunto de ecossistemas únicos e adaptados a altas concentrações de energia, sedimentos e nutrientes que estimulam a alta produtividade biológica e diversidade de habitats e espécies. Inclui as comunidades de plantas e animais, bacias hidrográficas, estuários e mares costeiros, estendendo-se para a plataforma e também para o continente. Sua dinâmica é resultante das forças humanas e físicas responsáveis por sua contínua modelagem.

Para os limites continentais e marítimos Nicholls & Small (2002) sugerem que a extensão da zona costeira seja de 100 m de altitude do nível mar e 100 km da linha de costa para o oceano. Outra

delimitação é proposta pelo Projeto Interações Terra-Oceano na Zona Costeira, sigla em inglês LOICZ⁴ que define a zona costeira como área que se estende desde as planícies costeiras até o limite exterior do da Plataforma Continental, correspondendo, aproximadamente, à região que foi inundada e exposta durante as flutuações do nível do mar no Quaternário tardio.

No Brasil os limites da Zona Costeira são definidos pelo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC II (instituído pela Lei nº 7.661/1988 e regulamentado pelo Decreto nº 5.300/2004). O dispositivo legal considera a ZC como patrimônio nacional, que corresponde ao espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos ambientais e abrange uma faixa marítima, que se estende mar afora, até 12 milhas marítimas (22,2km). Compreende a totalidade do Mar Territorial e uma faixa terrestre, formada pelos municípios que sofrem influência direta dos fenômenos ocorrentes na Costa (MMA 2008). Os limites internos são delimitações políticas e, na atualidade, é composta por 17 Estados e 463 Municípios, tendo população estimada em cerca de 26,58% (IBGE 2010, 2011).

No geral as costas do mundo formam uma estreita zona de interface entre o mar e o continente, em que grandes e crescentes proporções da população humana e da atividade econômica global estão localizadas. A Zona Costeira de Baixa Elevação (ZCBE) (Tagliani et al. 2006), que abrange 2% da área terrestre, é o lar de 600 milhões de pessoas (10% da população total). E é nessa faixa com 13% da população urbana total do mundo, que corresponde ao limite topográfico/altimétrico de 10 metros (Ramesh et al. 2015).

O aumento do NM pode produzir impactos diretos e indiretos na ZCBE, segundo Klein & Nicholls (1999), Muehe & Neves (2010) os principais impactos diretos são os seguintes: a probabilidade de frequência maior das cheias, a erosão, a inundação e a perda de ambientes. Tais impactos afetam indiretamente as populações que habitam esses locais, principalmente as mais vulneráveis social e economicamente e que dependem das atividades econômicas relacionadas ao mar e ao turismo.

Nicholls & Cazenave (2010), Nicholls et al. (2014) apresentam uma escala de valores para avaliar os impactos na ZCBE resultantes da elevação do NM. Quando acrescidos de uma avaliação a partir da escala temporal, esses impactos podem ocorrer a curto ou longo prazo. No primeiro caso ocorre a submersão de áreas costeiras em contato direto com o mar e como consequência desse processo acontece a inundação e intrusão de águas subterrâneas e superficiais, principalmente canais de marés; a longo prazo, ocorre o ajustamento da costa às novas condições climáticas e oceanográficas,

⁴ The Land–ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ), criado em 1993 para fornecer base de dados e conhecimento científico de como as mudanças no uso da terra, variação do NM e mudanças climáticas alteram os sistemas costeiros.

Ronaldo da Cruz Braga; Márcia Aparecida da Silva Pimentel; Edson José Paulino Rocha

como consequência, o processo erosivo irá se intensificar, ocorrerá perdas de ambientes como ecossistemas de manguezais, marismas e as dunas irão diminuir ou se ajustar, o mesmo acontecendo com as praias, dependendo da quantidade de sedimentos que transportam. Os autores também argumentam que os impactos físicos precedem ou coexistem com os impactos sociais, afetando atividades econômicas e estruturas físicas. Cutter (2011) entende que a ação dos elementos físicos pode aumentar a vulnerabilidade social, aumentando o potencial dos impactos.

IMPACTOS DA ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR NA ZONA COSTEIRA: ALGUNS EXEMPLOS

A erosão costeira é um fenômeno mundial, que tem se intensificado com a elevação do nível dos mares. Na Holanda, por exemplo, para evitar que a ação das ondas e correntes alcancem as estruturas dos diques de contenção, o governo decidiu adicionar, no Dique de Petten (um dos principais do país), 35 milhões de m³ de areia desde 1994 (Figura 04) (Wenneker et al. 2016).

Figura 04. Dique de Petten, Holanda.



Fonte: Wenneker et al. (2016).

No Leste da Austrália, com aumento de 1 metro do nível do mar, é estimado perdas em torno de 63 bilhões de dólares com danos sobre as estruturas residenciais. Com 85% da população habitando na costa, os riscos advindos desse aumento serão potencializados, principalmente, na ZCBE (Abel et al. 2011). Outras referências dos impactos da elevação do NM no país são Haines & Thom (2007) e Woodroffe (2007).

Na costa dos Estados Unidos os estudos de Gutierrez et al. (2014) quantificou o índice de Vulnerabilidade Costeira à elevação do NM a partir das projeções do AR5 IPCC (2013, 2014), determinando possíveis setores a serem impactados até 2100. Também Niell et al. (2017) estimaram o quantitativo de 25% a 50% de perdas de terras protegidas na costa Leste.

No Brasil de acordo com Nobre (2011) ao menos 50% do litoral é vulnerável aos impactos da elevação do NM. Dessa forma, os impactos observados, notadamente o erosivo, mesmo tendo diversas causas, pode-se inferir que também estão relacionados à elevação do NMM (Muehe 2006, Souza et al. 2005, 2009, Montanari et al. 2014, Nicolodi & Petermann 2010, Germani et al. 2015, Santos et al. 2015). Alguns importantes trabalhos relatando esses impactos podem ser consultados em (Bezerra 2014, Godoy & Lacerda 2015, Novelli et al. 2016).

Muehe (2005, 2006) identifica no Brasil ao menos sete compartimentos costeiros mais vulneráveis à erosão: Litoral lamoso do Amapá; litoral de dunas do Ceará; litoral das ilhas barreira e pontais de alta mobilidade do Rio Grande do Norte; litoral das falésias ativas do Ceará e Rio Grande do Norte; planícies costeiras de cristas de praia da Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro; duplos cordões litorâneos do Rio de Janeiro e o litoral das barreiras múltiplas do Rio Grande do Sul.

Em resumo, no litoral do Brasil a erosão ocorre ao longo de toda a costa (Muehe 2006), cujas principais causas relacionadas são: à variação do NM, evolução da linha de costa, urbanização de áreas de baixa topografia, dinâmica de processos como clima de ondas, correntes costeiras e marés. A Zona Costeira de Baixa Elevação, além de ser alvo de especulação imobiliária para a exploração do turismo de massa, também é habitada por população de baixa renda, o que potencializa os impactos advindos do aumento do nível do mar sobre a costa.

Para uma compreensão geral sobre as mudanças climáticas e seus principais indicadores naturais e antrópicos, formas de planejamento e gestão, bem como estratégias de adaptação, sugere-se a leitura de Cronin (2012), que mostra a variação paleoclimática do nível do mar resultante das mudanças climáticas; Cazenave & Cozannet (2013) e FitzGerald (2008) que fazem uma abordagem minuciosa dos principais impactos na zona costeira causados pela elevação do NM e Pethick (2001) para estudo sobre planejamento costeiro diante da subida NM, além de Laukkonen et al. (2009) e Smit & Wandel (2006), que tratam sobre metodologias e estratégias de adaptação da população costeira impactadas pelo aumento do NMM.

ANTROPOCENO, MEIOS GEOGRÁFICOS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O conceito de antropoceno é utilizado nas ciências para designar os impactos significativos e crescentes das atividades humanas na Terra e na atmosfera (Chin et al. 2016). É justamente a pressão antrópica sobre o meio físico, imprimindo marcas, na maioria, em forma de impactos negativos, que traça uma nova linha do tempo na história ambiental indissociável da ação humana.

O termo Antropoceno foi cunhado pela primeira vez para designar uma nova época geológica por Paul Crutzen e Eugene Stoermer nos anos de 2000 e 2002, respectivamente. Esses autores propuseram que nos últimos 140 anos a ação humana sobre o ambiente global tornou-se significativa o suficiente para justificar a transição do Holoceno e o reconhecimento formal de um novo período, o "Antropoceno". A data de transição do Holoceno para o Antropoceno coincide com a Primeira Revolução Industrial.

Smith & Zeder (2013) propõem um limite de transição Holoceno-Antropoceno a 11.000 a 9.000 anos Antes do Presente. Porém, entendem que as datas iniciais para esse limite estão espalhadas, com diversas evidências, que podem ser datadas pelas ciências entre 13.800 anos atrás até aproximadamente 1750.

Das abordagens sobre a transição do Holoceno para o Antropoceno, três se referem às mudanças na atmosfera pela emissão de GEE, resultantes da ação humana, quer seja na agricultura, quer com a evolução de tecnologias.

Ramesh et al. (2015) afirmam que as zonas costeiras são atualmente, na perspectiva do Antropoceno, as áreas que mais são impactadas pela ação antrópica. Para esses autores, no Antropoceno a sociedade humana é a maior catalisadora de mudanças, impactando e modificando os processos costeiros, e é justamente nessa zona que os reflexos da ação humana modelando o clima global, são mais visíveis, modificando a morfologia e os processos costeiros (Syvitski et al. 2005).

A delimitação de 1950 de Monastersky (2015), para o Antropoceno, coincide também com a instituição do Meio Técnico-Científico-Informacional, marcado pela revolução em todos os setores de tecnologia, com a manipulação mais intensa da natureza e decisiva impressão humana sobre as paisagens, já a data de 1750 proposta por Crutzen & Stoermer (2000) e Zalasiewicz et al. (2010) coincide com a Primeira Revolução Industrial ou com o Meio Técnico. Porém, o fator determinante que demarca essa transição para os autores, é o aumento da concentração de Gases do Efeito Estufa na atmosfera, principalmente CO₂ e CH₄. Quadro 02.

Quadro 02. Características dos Meios Geográficos envolvendo a relação sociedade-natureza, concentração de GEE e seus principais impactos.

| Meios Geográficos | Relação homem-natureza | Concentração de GEE na Atmosfera |
|---|--|---|
| Meio Natural (anterior a Primeira Revolução Industrial) | A manipulação da natureza com sistema técnico existente não ocasionava degradação, visto que somente era retirado o necessário para a subsistência humana, ou seja, a relação era de harmonia. | Inferior a 277 ⁵ ppm (partes por milhão em volume) |
| Meio Técnico (da Primeira Revolução Industrial até a Segunda Guerra Mundial) | A domínio da técnica após a Primeira Revolução Industrial, ocasiona a subordinação da natureza e materializa no espaço diversas formas de degradação | Atinge 277 ppm em 1750; 279 em 1775; 283 em 1800; 284 em 1825; 285 em 1850; 296 em 1900 |
| Meio Técnico-Científico-Informacional | Após a 2ª Guerra Mundial, principalmente a partir da década de 1970, a técnica subordina os processos naturais de forma mais intensa. | Em 2005, 375 ppm. A partir de 2016 até o presente se mantém acima de 408,16 ppm (NOAA 2019) |

Fonte: Elaborado pelos autores com informações de Santos (2005; 2006 e 2012) e dados de Steffen et al. (2011) e NOAA (2019).

Para Santos (2005, 2006) a vulnerabilidade ambiental é aumentada cada vez que há desenvolvimento técnico e econômico. Isso parece uma contradição, visto que o desenvolvimento técnico deveria ter como resultado uma forma mais harmoniosa e menos impactante na relação homem-natureza. No entanto, o que se observa no mundo globalizado é a intensa degradação dos elementos da natureza pelos processos produtivos do Capitalismo, cujas consequências se apresentam nas mudanças das principais variáveis climáticas e consequentemente sobre as populações mais vulneráveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No cenário atual de mudanças climáticas há a necessidade de identificar as marcas impactantes da ação humana sobre os mais diversos espaços geográficos, essa é uma das buscas mais frequentes em diversos estudos que se desenvolvem em várias partes do mundo. A inquietação é justificada, visto que nesse cenário o poder de intervenção das sociedades humanas sobre o meio físico tem provocado impactos nunca antes evidenciados na cronologia terrestre.

Desde a instituição do Meio Natural até ao Meio técnico Científico-Informacional a evolução dos impactos humanos sobre os elementos físicos da natureza tem tido crescimento exponencial. As sociedades passaram a ter imenso domínio sobre a natureza a partir da técnica, a natureza submetida, materializa os impactos, os impactos deixam marcas sobre o solo, os corpos de água, a vegetação, o social, etc. As marcas sociais sobre os ecossistemas têm sido tão expressivas na história geográfica e

⁵ A concentração de CO₂ no Holoceno variou de 260 a 285 ppm até o ano de 1850 (Steffen et al. 2011). A partir de 1900 a concentração chega a 296 ppm. O aumento médio da concentração de CO₂ entre 1750 a 2005 foi de 33%.

Ronaldo da Cruz Braga; Márcia Aparecida da Silva Pimentel; Edson José Paulino Rocha

geológica, que a Comissão Estratigráfica Mundial, depois da publicação de diversos artigos, principalmente a partir do ano de 2011, tem sofrido pressão para incluir no Tempo Geológico o conceito de Antropoceno.

As mudanças climáticas, principalmente com a aceleração das emissões de GEE, de acordo com diversas pesquisas já destacadas, tem como principal vetor, a intensificação da intervenção humana sobre as paisagens e sobre os processos produtivos. Derivam dessas mudanças, vários outros impactos, que se espacializam por diversas partes da Terra.

Uma das consequências mais evidentes do aquecimento global, é a elevação do NMM, como respostas, as áreas mais impactadas são as zonas costeiras. Os impactos dessa elevação têm se materializado em forma de erosão costeira, perdas de ambientes, mudança na salinidade, destruição de estruturas humanas, mudança do modo de vida e, em alguns casos, até migrações.

Com o maior domínio técnico sobre a natureza pelas sociedades, as projeções dos impactos socioambientais na superfície da Terra tendem a se intensificar. Considerando a dinâmica da temperatura da atmosfera e do nível dos oceanos, o último relatório do IPCC (2013) prevê um aumento de quase 5°C e aproximadamente 1 metro até o ano de 2100, respectivamente. Nesse contexto, concorda-se com Santos (2012) que contesta o domínio tecnológico pelas grandes corporações mundiais e a busca do lucro manifestado em forma de impactos sociais e naturais. É necessário repensar a forma de apropriação da natureza, usar a tecnologia para demonstrar e entender o seu dinamismo e utilizar sua potencialidade paisagística para o desenvolvimento social e minimização dos impactos, ao mesmo tempo que, compreende-se que não se pode interromper o ciclo natural das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

Abel N, Gorrdard R, Harman B, Leitch A, Langridge J, Ryan A, Heyenga S 2011. Sea level rise, coastal development and planned retreat: analytical framework, governance principles and na Australian case study. *Environmental science e policy* (14): 279-288.

Aerola TT 2003. Mudanças climáticas globais: passado, presente e future. *Departamento de Geociências*, 1-10.

Alley RB 2000. The Younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland. *Quaternary Science Reviews* (19): 213-226.

Alley RB, Lynch-Stieglitz J, Severinghaus JP 1999. Global climate change. *PNAS Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96 (18): 9987-9988.

Alley RB 2000. Ice-core evidence of abrupt climate changes. *PNAS* 97(4): 1331-1334.

Alley RB 2003. Perspectivas paleoclimáticas sobre os futuros desafios climáticos. *Trans. R. Soc. Lond.* (361), 1831-1849.

Annan JD, Hargreaves JC 2006. Using multiple observationally based constraints to estimate climate sensitivity, *Geophysical Research Letters* (33): 1-4.

Aviso/Satellite Altimetry Data 2019. *Mean sea level*. Acesso: 15 fev. 2019. <https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/data-access.html>.

Barbi F 2015. *Mudanças climáticas e respostas políticas nas cidades: os riscos na Baixada Santista*. Editora da Unicampi, Campinas, SP, 246 pp.

BARD E, Delaygue G 2007. Comment on “Are there connections between the Earth’s magnetic field and climate?” by V. Courillot, Y. Gallet, J.L. LeMouél, F., Fluteau, A. Genevey. *Earth Planet Sci. Lett.*, 265(1): 302-307.

Cronin TM 2012. Rapid sea-level rise. *Quaternary Science Reviews* (56): 11-30.

Courillot V, Gallet Y, LeMouél JL, Fluteau F. Genevey A 2007 “Are there connections between the Earth’s magnetic field and climate?” *Earth and Planetary Science Letters* (253): 328-339.

Benestad RE 2002. Solar Activity and Earth’s Climate. *Eos* 84(29): 277.

Benestad RE 2009. Schmidt GA. Solar trends and global warming, *J. Geophys. Res* (114): 1-18.

Bezerra DS 2014. *Modelagem da dinâmica do manguezal frente à elevação do nível do mar*. São José dos Campos: INPE, Tese (Doutorado em Ciências do Sistema Terrestre), 89 pp.

Bindoff N, Willebrand J, Artale V, Cazenave A, Gregory J, Gulev S, Hanawa K, Le quéré C, Levitus S, Nojiri Y, Shum CK, Talley L, Unnikrishnan A 2007. *Observations: oceanic climate and sea level*. In: *Climate change 2007: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, 978 pp.

Boyle EA 2000. Is ocean thermohaline circulation linked to abrupt stadial/interstadial transitions? *Quaternary Science Reviews* (19): 255-272.

Broecker WS 2000. Was a change in thermohaline circulation responsible for the Little Ice Age? *PNAS* 97 (4): 1339-1342.

Camp CD, Tung KK 2007. Surface warming by the solar cycle as revealed by the composite mean difference projection. *Geophysical Research Letters* (34): 1-5.

Carslaw KS, Harrison RG, Kirkby J 2002. Cosmic Rays, Clouds, and Climate. *Science* (298): 1732-1737.

Cazenave A, Rémy F 2011. Sea level and climate: measurements and causes of changes, *Interdisciplinary Reviews. Climate Change* 2(5): 647-662.

Cazenave A, Cozannet GL 2013. Sea level rise and its coastal impacts. *Earth’s Future* (2): 15-34.

Church JÁ, White NJ, Konikow LF, Domingues CM, Cogley JG, Rignot E, Gregory JM, Van den broeke MR, Monaghan AJ, Velicogna I 2011. Revisiting the Earth's sea-level and energy budgets from 1961 to 2008. *Geophysical Research Letters* (38): 1-8.

Crutzen PJ, Stoermer EF 2000. The Anthropocene. *IGBP Newsletter*. 41 (1): 17-18.

Crowley TJ, Berner RA 2001. CO₂ and Climate Change. *Science* 292 (5518): 870-872.

Chin A, Gillson L, Quiring SM, Nelson DR, Taylor MPA, Vanacker V, Lovegrove D 2016. An evolving Anthropocene for science and society. *Elsevier Anthropocene* (13): 1-3.

Coelho C 2005. *Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira*. Tese de Doutorado. Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 440 pp.

Conti JB 2005. On global climatic changes. *Revista do Departamento de Geografia* (16) 70-75.

Crossland CJ, Kremer HH, Lindeboom HJ, Crossland JI 2005. *Coastal Fluxes in the Anthropocene: The Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Project of the International Geosphere–Biosphere Programme*, Global Change – The IGBP Series, New York, 253 pp.

Cutter S 2011. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. *Revista crítica de Ciências Sociais*, (93): 56-69.

Dasgupta S, Meisner C 2009. *Climate Change and Sea Level Rise. A Review of the Scientific Evidence*. The World Bank Environment Department, Climate Change Series, Washington, 36 pp.

Dou TF, Xiao CD 2016. An overview of black carbon deposition and its radiative forcing over the Arctic. *Science Direct Advances in Climate Change Research* (7): 115-122.

Edwards PN 2010. *A vast machine: computer models, climate data, and the politics of global warming*. Cambridge, Massachusetts London, England, 547 pp.

FitzGerald DM, Fenster MS, Argow BA, Buynevich IV 2008. Coastal Impacts Due to Sea-Level Rise. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* (36): 601-647.

Germani YF 2015. Vulnerabilidade costeira e perda de ambientes devido à elevação do nível do mar no litoral sul do Rio Grande do Sul. *Revista de Gestão Costeira Integrada* 15 (1): 121-131.

Gildor H, Tziperman E 2003. Sea-ice switches and abrupt climate change. *Phil. Trans. R. Soc. Lond* (361): 1935-1944.

Grillakis MG, Koutroulis AG, Seiradakis KD, Tsanis IK 2016. Implications of 2 °C global warming in European summer tourism. *Climate Service* (1): 30-38.

Godoy MDP, Lacerda LD 2015. Mangroves Response to Climate Change: A Review of Recent Findings on Mangrove Extension and Distribution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 87(2): 651-667.

Gornitz V 1991. Global coastal hazards from future sea level rise. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. *Global and Planetary Change Section* (89): 379-398.

Goosbrasil 2017. *Global Sea Level Observing System*. Acesso em janeiro de 2017. <http://www.goosbrasil.org/gloss/dados/>.

Goosse HPY, Barriat W, Lefebvre M, Loutre VZ 2010. *Introduction to climate dynamics and climate mode ling*. Online textbook available at <http://www.climate.be/textbook>.

Gutierrez BT, Plant NG, Pendleton EA, Thieler ER 2014. *Using a Bayesian Network to predict shore-line change vulnerability to sea-level rise for the coasts of the United States*, US Geological Survey, Virgínia, 32 pp.

Haines PE, Thom BG 2007. Climate change impacts on entrance processes of intermittently open/closed coastal lagoons in New South Wales, Australia. *Journal of Coastal Research* (50): 242-246.

Hoffman F, Kaufman AJ, Halverson GP, Schrag DP 1998. Neoproterozoic Snowball Earth. *Science* (28): 1342-1346.

Iclei 2013. Ecosystem-based Adaptation: a Guiding Framework for decision-making criteria, *ICLEI/Local Governments for Sustainability*, 1-11.

Iclei 2015. Adaptação baseada em ecossistemas. Oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas. *Iclei/Fundação Boticário*, Curitiba, 82 pp.

Iclei 2016. Guia de Ação Local pelo Clima, São Paulo, *ICLEI/Local Governments for Sustainability*, 96 pp.

Ibge 2011. *Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil*, Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro, 176 pp.

Ibge Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2010. *Censo Demográfico 2010*. Acesso em 2017. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=150620&search=para|salinopolis>.

Ippc 2007. *Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change. The Mitigation of Climate Change. Contribuição do grupo de trabalho III para o quarto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima*. Cambridge University Press, New York, 851 pp.

Ippc/WG I 2013. *Climate change the physical science basis: Contribution of working group 1 to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, New York, 1535 pp.

Ippc 2014. Summary for policymakers. In: *Climate Change. Impacts, adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, p. 1-32.

Juras LA 2014. *Mudança do clima: principais conclusões do 5º Relatório do IPCC*, Nota Técnica. Brasília. Câmara dos Deputados, Praça dos Três Poderes. Consultoria Legislativa Anexo III, 9 pp.

Kang SC, Cong ZY 2016. Atmospheric black carbon and its effects on cryosphere. *Science Direct. Advances in Climate Change Research* (7): 113-114.

Klein RJT, Nicholls RJ 1999. Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio* 28 (2): 182-187.

- Kruger T 2013. *Discovering the ice ages. International reception and consequences for a historical understanding of climate*, Brill, Boston, 556 pp.
- Laukkonen J, Blanco PK, Lenhart J, Keiner M, Cavric B.; Kinuthia-Njenga C 2009. Combining climate change adaptation and mitigation measures at the local level. *Habitat International* (33): 287-292.
- Leite JC 2015. Do mistério das eras do gelo às mudanças climáticas abruptas. *Scientiae Studia*, São Paulo 13 (4): 811-39.
- Levitus S, Antonov JL, Boyer TP, Locarnini RA, Garcia HE, Mishonov AV 2009. Global Ocean heat content 1955-2008 in light of recently revealed instrumentation problems, *Geophys. Res* (36): 7-16.
- Luz RT, Guimarães VM 2003. Dez anos de monitoramento do nível do mar no ibge. In: *Anais do 3º colóquio brasileiro de ciências geodésicas*, Curitiba, UFPR. http://www.ibge.gov.br/canal_artigos/a2003_1.php.
- Lyman JM, Godd AS, Gouretski VV, Ishii M, Johnson GC, Palmer MD, Smith DM, Willis JK 2010. Robust warming of the global upper ocean, *Nature* (465): 334-337.
- Mendonça F 2004. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: uma reflexão a partir da RMC. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente, Paraná: Editora UFPR* (10): 139-148.
- Mcsweeney CF, Jone RG 2016. How representative is the spread of climate projections from the 5 CMIP5 GCMs used in ISI-MIP? *Climate Services* (1): 24-29.
- MMA 2008. *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*. Ministério do Meio Ambiente MMA, Brasília, 242 pp.
- Monastersky R 2015. Anthropocene: The human age. *Nature* (519): 144-147.
- Montanari F, Queiroz SMP, Kolichski MB, Polette, M 2014. *Estimativa dos impactos econômicos do aumento do nível médio do mar no município de Florianópolis/SC para o ano de 2100*. Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, UFPR, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Universität Stuttgart, 121 pp.
- Muehe D 2003. O litoral brasileiro e sua compartimentação. In AJT Guerra, SSB Cunha. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p. 273-349.
- Muehe, D 2005. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. *Mercator- Revista de Geografia da UFC* 4 (7): 97-110.
- Muehe D 2006. Erosion in the Brazilian coastal zone: an overview. *Journal of Coastal Research* (39): 43-48.
- Muehe D 2006. *Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Ministério do Meio Ambiente MMA, Brasília, 476 pp.
- Muehe D 2008. Introdução. In: D Muehe, *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*, MMA, Brasília, p. 1-22.
- Muehe D, Neves CF 2010. Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação. *Parcerias estratégicas*, 13 (27): 151-177.

Muehe D, Rosman PCC 2011. A orla costeira da região metropolitana do Rio de Janeiro: impactos das mudanças climáticas sobre o meio físico. In A Nobre, A Young. *Megacidades, vulnerabilidades e mudanças climáticas: região metropolitana do Rio de Janeiro*. CST/INPE e NEPO/UNICAMP, Rio de Janeiro, p. 75-106.

Niell ER, Kousky C, Thompson AW 2017. Threatened protection: Sea level rise and coastal protected lands of the eastern United States. *Ocean & Coastal Management* (137): 118-130.

Noaa 2019. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Acesso: 15 fev. 2019. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/graph.html>.

Nicholls RJ, Hanson SE, Lowe JA, Warrick RA, Lu X, Long AJ 2014. Sea-level scenarios for evaluating coastal impacts. *Wires Clim Change* (5): 129-150.

Nicholls RJ, Cazenave A 2010. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. *Science, New Series* 328 (5985): 1517-1520.

Nicolodi JL, Petermann RM 2010. Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 10(2): 151-177.

Nicholls R, Small C 2002. Improved Estimates of Coastal Population and Exposure to Hazards Released. *Eos* 83(28): 301-305.

Nobre AC 2008. Mudanças climáticas e o Brasil-contextualização. *Parcerias Estratégicas* 13(27): 7-17.

Nobre AC, Sampaio G, Salazar, L 2008. Cenários de mudança climática para a América do Sul para o final do século 21. *Parcerias Estratégicas* 13 (27): 19-42.

Nobre CA 2011. *Relatório de atividades. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas 2010-2011*, MCT, 96 pp.

Novelli YS, Sierra EJ, Vale CC, Bernini E, Rovai AS, Pinheiro MA, Schmidt AJ, Almeida R, Júnior CC, Menghini RP, Martinez DI, Guilherme MO, Lignon MC, Sarubo SC, Freitas JS, Molero GC 2016. Climate changes in mangrove forests and salt marshes. *Brazilian Journal of Oceanography* 64(2): 37-52.

Olmos SR, Espinosa CG, Izquierdo CV, Zavala AT, Cruz JG 2011. Cambio Climático Global através del tiempo geológico. *Investigación universitaria multidisciplinaria* 10 (10): 14-122.

Overpeck J, Webb R 2000. Nonglacial rapid climate events: Past and future. *PNAS*. 97 (4): 1335–1338.

Overpeck JT 2006. Paleoclimatic Evidence for Future Ice-Sheet Instability and Rapid Sea-Level Rise. *Science* (311): 1747-1751.

Overland JE, Wang M, Walsh JE, Stroeve JC 2013. Future Arctic climate changes: Adaptation and mitigation time scales, *Earth's Future* 2 (2): 1-7.

PBMC 2012: *Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas Sumário executivo do volume 1 base GT I*. Rio de Janeiro, PBMC, 34 pp.

PBMC 2014. *Mitigação das mudanças climáticas. Contribuição do GT III. Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas*, Rio de Janeiro, COPPE, 463 pp.

- Pethick J 2001. Coastal management and sea-level rise. *Catena* (42) 307-322.
- Petit J R, Jouzel J, Raynaud D, Barkov NI, Barnola JM, Basile I, Bender M, Chappellaz J, Davisk M, Delaygue G, Delmotte M, Kotlyakov VM, Legrand M, Lipenkov VY, Lorius C, Pepin L, Ritz C, Saltzmann E, Stievenard M 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399 (3): 429-436.
- Psmsl 2017. Permanent Service for Mean Sea Level. Acesso em julho de 2017. <http://www.psmsl.org/>.
- Pna/Mma 2016. *Plano nacional de adaptação: zonas costeiras*. In: MMA 2016. O Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. MMA, Brasília, 238-262 pp.
- PNGC II 1997. *Plano nacional de gerenciamento costeiro* Lei 7.661, de 16/05/88. MMA, Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80033/0.PNGC-II97%20Resolucao05_97.CIRM.pdf.
- Ramesh R, Chen Z, Cummins V, Day J, D'elia C, Dennison B, Forbes D L, Glaeser B, Glaser M, Glavovic B, Kremer H, Lange M, Larsen JN, L'e Tissier M, Newton A, Pelling M, Purvaja R, Wolanski E 2015. Land–Ocean Interactions in the Coastal Zone: Past, present and future, *Anthropocene* (12) 85-98.
- Rasmussen EA 2010. *Vejet gennem 5000 AR Tempo através de 5000 anos. Meteorologiens historie*, Aarhus Universitetsforlag, Århus, Dinamarca, 367 pp.
- Rémy F, Testut CR 2006. Mais comment sécoule donc un glacier? Aperçu historique. *Elsevier Geoscience* (338): 368-85.
- Ren GY 2015. Urbanization as a major driver of urban climate change. *Advances in Climate Change Research* (6): 1-6.
- Ribeiro WC 2008. *Ordem Ambiental Internacional*. Contexto, São Paulo, 180 pp.
- Roaf S, Crichton D, Nicol F 2009. *A adaptação de Edificações e Cidades às Mudanças Climáticas*. Bookman, Porto Alegre, 384 pp.
- Salgado-Labouriau ML 1994. *História Ecológica da Terra*. Edgar Blücher, São Paulo, 307 pp.
- Santos M 2005. A questão do meio ambiente: desafios para a construção de uma perspectiva transdisciplinar. *GeoTextos* 1 (1): 139-151.
- Santos M 2006. *A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção*. Edusp 4ª Ed, São Paulo, 388 pp.
- Santos M 2012. *Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal*. Record 22ª Ed, Rio de Janeiro, 176 pp.
- Santos MST, Amaro VE, Ferreira ATS, Barboza AA, Figueiredo MC, Araújo AG 2015. Metodologia para mapeamento de vulnerabilidade costeira à elevação do nível médio do mar (NMM) em escala local. *Boletim de Ciências Geodésicas* 21 (4): 691-705.
- Schmidt G, Wolfe J 2009. *Climate Change: Picturing the Science*. W.W. Norton, USA/NASA, 350 pp.

- Shapin S, Schaffer S 2011. *Leviathan and the air-pump: Hobbes, Boyle and the experimental life*. Princeton University Press, Princeton/Oxford, 448 pp.
- Smit B, Wandel J 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* (16): 282-292.
- Smith BD, Zeder MA 2013. The onset of the Anthropocene. *Anthropocene* (4): 8-13.
- Souza CRG 2009. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 9(1): 17-37.
- Souza CRG, Souza Filho PW, Esteves LS, Vital H, Dillenburg SR, Patchineelan SM, Addad JE 2005. Praias arenosas e erosão costeira. In Souza CRG, Suguiú K, Oliveira AMS, Oliveira PE, *Quaternário do Brasil*, ABEQUA/Holos, São Paulo, p. 130-152.
- Steffen W, Grinevald J, Crutzen P, McNeill J 2011. The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions Royal Society* (369): 842-867.
- Steininger KW, Friedl BB, Formayer H, König M 2016. Consistent economic cross-sectoral climate change impact scenario analysis: Method and application to Austria. *Climate Services* (1): 39-52.
- Syvitski JPM, Harvey N, Wolanski E, Burnett WC, Perillo GME, Gornitz V 2005. Dynamics of the Coastal Zone. In Crossland CJ, Kremer HH, Lindeboom HJ, Crossland JIM, Le Tissier MDA, *Coastal Fluxes in the Anthropocene*, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, p. 39-95.
- Walker G 2007. *An ocean of air. A natural history of the atmosphere*. Bloomsbury, London, 336 pp.
- Williams MB, Aydin M, Tatum C, Saltzman ES 2007. A 2000 year atmospheric history of methyl chloride from a South Pole ice core: Evidence for climate-controlled variability. *Geophysical Research Letters* (34): 1-5.
- Woodward J 2014. *The ice age: a very short introduction*. OUP Oxford, Orford, 184 pp.
- Wulf A 2016. *A invenção da natureza: a vida e as descobertas de Alexander von Humboldt*. Planeta, São Paulo, 600 pp.
- Tagliani CRA, Conterato MR, Antiquiera JAF, Calliari LJ, Tagliani PR, Soares MN 2006. Construção de um modelo digital de elevação digital de terreno para Ilha dos Marinheiros, Rio Grande, RS, com uso de DGPS e rotinas de geoprocessamento. *Gravel* (4): 89-98.
- Vieira PC 1981. Variações do nível marinho: alterações Eustáticas no quaternário. *Rev. IG 2* (1): 39-58.
- Wenneker I, Spelt B, Peters H, Ronde J 2016. Overview of 20 years of fieldmeasurements in the coastal zone and at the Petten sea dike in the Netherlands. *Coastal Engineering* (109): 96-113.
- Woodroffe CD 2007. Critical thresholds and the vulnerability of Australian tropical coastal ecosystems to the impacts of climate change. *Journal of Coastal Research* (50): 464-468.
- Yan ZW, Wang J, Xia JJ, Feng JM 2016. Review of recent studies of the climatic effects of urbanization in China. *Advances in Climate Change Research* 7(3): 154-168.

Yang JP, Ding YJ, Liu SY, Tan CP 2015. Vulnerability of mountain glaciers in China to climate change. *Advances in Climate Change Research* (6): 171-180.

Zalasiewicz J, Williams M, Steffen W, Crutzen P 2010. The new world of the Anthropocene. *Environmental Science and Technology* (44): 2228-2231.

Zhou WL, Jin N, Lin Z, Wu GX 2015. From global change to Future Earth in China. *Advances in Climate Change Research* (6) 92-100.

Climate Change and Impacts of the Sea Level Elevation in the Coastal Zone: Bibliographical Research and Conceptual Contribution

ABSTRACT

This paper is a theoretical work on the theme related to the increase of the Middle Sea Level and its impacts on natural and anthropic environmental systems in coastal zones, a theme that is present both in the academic environment and outside it, as a daily reflection of contemporary society. This challenge has led to the construction of a theoretical base structured in the concepts of Climate Change, Coastal Zone, Middle Sea Level, Anthropocene and Geographical Means associated with the current climate change context. Towards this purpose, it was fundamental to search in international and national indexed journals, books, theses and websites, which totaled 125 references on the subject. There was initially a brief historical rescue of these discussions from Classical Antiquity to the First Industrial Revolution. Subsequently, the most recent information based on the scientific line of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The correlation between the projections of the IPCC Fifth Report AR5 / 2013 and the satellite altimetry database showed that sea level has increased in most of the Globe, causing several social-environmental impacts from erosion and flooding, especially in the so-called Coastal Zone of Low Elevation.

Keywords: Level of the Sea; Coastal Zone; Impacts; Anthropocene.

Submissão: 05/03/2018

Aceite: 12/02/2019